

Rec'd PGI/PTO

25 APR 2005

PCT/JP 2004/011539

10/532782

27. 8. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 8 月 1 2 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 2 9 2 3 5 0
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 2 9 2 3 5 0]

REC'D 15 OCT 2004	
WIPO	PCT

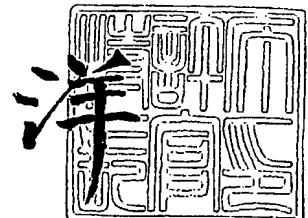
出 願 人
Applicant(s): 日 本 電 信 電 話 株 式 会 社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 9 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 8 7 4 5 1

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH155761
【提出日】 平成15年 8月12日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 21/00
H01L 21/20

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号
日本電信電話株式会社内
【氏名】 熊倉 一英

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号
日本電信電話株式会社内
【氏名】 廣木 正伸

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号
日本電信電話株式会社内
【氏名】 牧本 俊樹

【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】
【識別番号】 100075753
【弁理士】
【氏名又は名称】 和泉 良彦
【電話番号】 03-3214-0502
【ファクシミリ番号】 03-3214-0504

【選任した代理人】
【識別番号】 100081341
【弁理士】
【氏名又は名称】 小林 茂
【電話番号】 03-3214-0502
【ファクシミリ番号】 03-3214-0504

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 084480
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0207046

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、

前記サファイア基板上に設けた該サファイア基板と格子整合する Al_2O_3 層と、

前記 Al_2O_3 層上に設けた、前記窒化物半導体層の格子定数以上かつ前記サファイア基板の格子定数以下の格子定数を有する第 1 の層である $AlON$ 層と、第 2 の層である AlN 層とのいずれか一方の層と

を有することを特徴とする窒化物半導体成長用基板。

【請求項 2】

サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、

前記サファイア基板上に設けた該サファイア基板と格子整合する Al_2O_3 層と、

第 1 の層である $AlON$ 層と、第 2 の層である AlN 層とを有し、前記第 1 の層と前記第 2 の層との順序で前記 Al_2O_3 層上に積層された構造を有することを特徴とする窒化物半導体成長用基板。

【請求項 3】

前記窒化物半導体成長用基板の最上層として Al_2O_3 からなるキャップ層を設けたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の窒化物半導体成長用基板。

【書類名】明細書

【発明の名称】窒化物半導体成長用基板

【技術分野】

【0001】

本発明は、サファイア基板上に窒化物半導体を成長するための窒化物半導体成長用基板に関するものである。

【背景技術】

【0002】

窒化物半導体は、遠赤外から紫外領域のバンドギャップを有するため、その領域での発光・受光デバイスの材料として有望である。また、大きなバンドギャップを有し、絶縁破壊電界が大きく、飽和電子速度も高いため、耐高温・高出力・高周波電子デバイス等の材料としても非常に有望である。さらに、これまで利用されてきたGaAs系やInP系と比べ、砒素(As)や燐(P)を含まないことから、環境に無害な特長も持ち合わせており、将来の半導体デバイス材料として期待されている。

このように優れた特性を有する窒化物半導体のエピタキシャル成長用基板としては、該窒化物半導体の格子定数や熱膨張係数と同じものがいままでなかった。そのため、基板としてサファイアやSiC、Siが主に用いられている。

【0003】

GaN、AlN、InNおよびそれらの混晶をエピタキシャル成長するには、従来サファイア基板が主として用いられてきた。しかし、サファイア基板と窒化物半導体との間には、11~23%の格子不整合や熱膨張係数差がある。従って、サファイア基板上に窒化物半導体を直接成長すると、3次元的な成長が起き、表面の原子レベルでの平坦性が悪く、多くの結晶欠陥が入るという問題があった。

サファイア基板上への窒化物半導体のエピタキシャル成長の場合、緩衝層(以下、バッファ層と称す)を用いた方法により、GaNの結晶性の改善を行ったという報告がなされている。以下にその技術の説明を行う。

【0004】

第1の方法は、低温AlNバッファ層を用いたGaNの成長方法である(下記非特許文献1参照)。有機金属気相成長装置などで、サファイア基板を表面清浄化のため、高温(1000~1100℃程度)で熱処理した後、一度降温し、500℃前後で低温AlNバッファ層を堆積し、再び昇温して1000℃前後でGaNを成長する方法である。この方法で堆積したAlNバッファ層は非晶質であり、堆積後の昇温過程で固相成長し、アイランド状(島状)の形状となる。当然のことながら、その昇温する際の装置内の雰囲気、昇温速度などによって、形成されるアイランド形状は異なる。高温でのAlNバッファ層の成長初期には、このアイランドが核となり、AlNバッファ層が結晶成長し、お互いが融合し合うことで平坦化が進む。平坦化がなされたAlNバッファ層上にGaNは2次元的に結晶成長する。

第2の方法は、低温GaNバッファ層を用いたGaNの成長方法である(下記非特許文献2参照)。サファイア基板を高温(1000~1100℃程度)で熱処理した後、一度降温し、500℃程度で低温GaN層を堆積し、再び昇温して1000℃程度でGaNを成長する方法である。GaNはAlNと比較し脱離が起こりやすいため、昇温過程での核形成は、AlNの場合と必ずしも同じではないが、その後の成長様式はほぼ同じである。

なお、GaN以外の窒化物半導体の結晶成長においても、上記と同様の方法が適用されている。例えば、 $Al_{1-x}Ga_xN$ ($0 \leq x \leq 1$)、 $In_{1-x}Ga_xN$ ($0 \leq x \leq 1$) 結晶を作製する際には、サファイア基板上に低温GaNバッファ層を堆積し、GaNを成長させた後に、 $Al_{1-x}Ga_xN$ 、 $In_{1-x}Ga_xN$ を成長させる。特に、 $Al_{1-x}Ga_xN$ 結晶を作製する方法は、下記非特許文献3に記載されている。

【0005】

【非特許文献1】H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki, and Y. Toyoda, "Metal organ

ic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer," Appl. Phys. Lett., 48, 353 (1986)

【非特許文献 2】S. Nakamura, "GaN growth using GaN Buffer layer," Jpn. J. Appl. Phys., 30, L1705 (1991)

【非特許文献 3】C. Pernot, et al., "Low-intensity ultraviolet photodetectors based on AlGaIn," Jpn. J. Appl. Phys., 38, L487 (1999)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述のように、上記の窒化物半導体の成長方法は、バッファ層の成長が2段階であって、昇・降温プロセスがあるため、成長プロセスが複雑であり、成長時間が長くなるという問題を持つ。

また、これらの成長方法はいずれも、バッファ層はGaN層との格子整合を目的としており、基板との格子整合は考慮されていなかった。

また、バッファ層を低温で堆積しても、低温バッファ層は非晶質であり、昇温時に固相成長するため、基板との格子不整合は依然として存在しており、転移の発生を有効に抑制することは困難で、貫通転位が通常 $10^9 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 存在する。この転位は、作製したデバイスの特性を劣化させることが良く知られている。例えば、レーザーの短寿命化や、デバイスのリーク電流の増大・低耐圧化などである。また、転位の存在によって、不純物の拡散あるいは偏析が促進されることもある。したがって、窒化物半導体層中の転位密度を減少させることは、デバイス特性の向上や、転位の影響によりこれまで達成できなかったデバイスの実現、結晶構造作製の制御性を高める上で、非常に重要である。

本発明の目的は、上記課題を解決し、窒化物半導体の成長プロセスを簡便化し、成長時間を短縮化し、かつ、高品質の窒化物半導体結晶層を得ることができる窒化物半導体成長用基板を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明は、サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、前記サファイア基板上に設けた該サファイア基板と格子整合する Al_2O_3 層と、前記 Al_2O_3 層上に設けた、前記窒化物半導体層の格子定数以上かつ前記サファイア基板の格子定数以下の格子定数を有する第1の層である AlON 層と、第2の層である AlN 層とのいずれか一方の層とを有するという構成になっている。ここで用いる「格子整合する」とは、格子定数がほぼ等しいということの意味している。

また、サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、前記サファイア基板上に設けた該サファイア基板と格子整合する Al_2O_3 層と、第1の層である AlON 層と、第2の層である AlN 層とを有し、前記第1の層と前記第2の層との順序で前記 Al_2O_3 層上に積層された構造を有するという構成になっている。

また、前記窒化物半導体成長用基板の最上層として Al_2O_3 からなるキャップ層を設けたという構成になっている。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、窒化物半導体の成長プロセスを簡便化し、成長時間を短縮化し、かつ、高品質の窒化物半導体結晶層を得ることができる窒化物半導体成長用基板を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、図面を用いて本発明の実施の形態について詳細に説明する。なお、以下で説明す

る図面で、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

実施の形態

図1は、本発明の実施の形態の窒化物半導体成長用基板の断面模式図である。

図1において、1はサファイア基板（サファイア単結晶基板）、2は Al_2O_3 層（酸化アルミニウム層、すなわち、アルミナ層）、3は $AlON$ 層（酸窒化アルミニウム層）、4は AlN 層（窒化アルミニウム層）、5は Al_2O_3 からなるキャップ層（最上層）、6は窒化物半導体成長用基板である。

本実施の形態は、サファイア基板1上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、サファイア基板1上に設けた該サファイア基板1と格子整合する Al_2O_3 層2と、第1の層である $AlON$ 層3と、第2の層である AlN 層4とを有し、 $AlON$ 層3と AlN 層4との順序で前記 Al_2O_3 層上に積層された構造を有する。なお、 Al_2O_3 層2上に設けた、窒化物半導体層の格子定数以上かつサファイア基板1の格子定数以下の格子定数を有する第1の層である $AlON$ 層3と、第2の層である AlN 層4とのいずれか一方の層とを有する構造でも本発明による効果が得られ有効である。また、窒化物半導体成長用基板6の最上層として Al_2O_3 からなるキャップ層5が設けられている。

【0010】

すなわち、直径2インチのサファイア基板1上に、ECR (Electron Cycrotron Resonance) プラズマ成膜装置により Al と酸素を用い、室温、 Ar プラズマ中で Al_2O_3 層2を厚さ5 nm程度堆積した。その後、窒素を堆積ガス中に添加していき、 $AlON$ 層3を厚さ10 nm程度堆積し、次に、当該窒化物半導体成長用基板6上に成長させる窒化物半導体層（例えば GaN 層）と同種の AlN 層4を、 Al と窒素を用い、 Ar プラズマ中で厚さ10 nm程度堆積した。最後に、ストイキオメトリの乱れからくる表面の不安定性を生じさせる不規則な自然酸化を防ぐために、 Al と酸素を用い、 Ar プラズマ中で Al_2O_3 からなるキャップ層5を厚さ5 nm程度堆積した。このようにして窒化物半導体成長用基板6を作製した。

なお、例えば、 Al_2O_3 層2の膜厚は、1 nmから200 nm程度、好ましくは2 nmから20 nm程度である。 $AlON$ 層3の膜厚は1 nmから200 nm程度、好ましくは2 nmから70 nm程度である。 AlN 層4の膜厚は、1 nmから200 nm程度、好ましくは2 nmから50 nm程度である。

【0011】

次に、本発明の窒化物半導体成長用基板の有用性を実証した実験結果について説明する。

図2は、本発明の窒化物半導体成長用基板上に GaN 層を結晶成長させた構造の断面模式図である。

図2において、7は GaN 層、8は導電性測定用の Si ドープ n 型 GaN 層である。

上記実施の形態に示した窒化物半導体成長用基板6上に、有機金属気相成長法により GaN 層7を成長させた。この際の成長シーケンスは、窒化物半導体成長用基板6を成長炉に導入した後、アンモニア雰囲気下で成長温度（1000℃）まで昇温して、 GaN 層7、8を成長させる簡便な方法である。原料には、トリメチルガリウム、アンモニアを用いた。 Si ドープ n 型 GaN 層8の n 型の不純物のドーピングには、シランを用い、 Si ドープ n 型 GaN 層8を形成した。

作製した GaN 層7、8について、X線回折測定およびホール効果測定を行い、結晶性と電気的な特性の評価を行った。作製した GaN 層7の結晶性の評価は、(10-10)からのX線非対称反射スペクトルの半値幅から結晶中の転位密度を見積もることによって行った。転位密度を見積もった結果、従来技術での転位密度は、 $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 程度であるのに対し、上記実施の形態の窒化物半導体成長用基板6を用いて作製した GaN 層7の場合は、 $9 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ となり、大幅に減少していた。また、ホール効果測定の結果、従来技術でのキャリア濃度と移動度はそれぞれ、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で $340 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であるのに対し、上記実施の形態の窒化物半導体成長用基板6を用いて作製し

た GaN 層 7 におけるそれらは $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で $540 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ となり、大幅に特性が改善されていることが明らかとなった。

このように本発明の各層を有する窒化物半導体成長用基板によれば、各層をサファイア単結晶に格子整合した層から、成長させる窒化物半導体の格子定数に徐々に近づけているため、窒化物半導体結晶への貫通転位が従来技術と比較し、大幅に減少する。従って、転位密度が 10^7 cm^{-2} オーダーの結晶を容易に作製できる。また、それだけでなく、成長温度まで昇温することにより容易に窒化物半導体層の結晶成長が可能である。従って、従来問題であった、成長シーケンスの簡便化や成長時間の大幅な短縮を容易に可能にできる。つまり、本発明では、基板表面全体で均一に転位密度を減少することが可能であるため、窒化物半導体層の結晶性の向上を図ることができ、産業上非常に有効である。また、転位密度の減少にともない、結晶性の向上も見込まれるため、デバイス特性の向上や新デバイスの実現など多岐にわたり波及効果が期待される。

なお、本発明の窒化物半導体成長用基板は、GaN 以外の窒化物半導体、 $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)、AlN、InN 等の結晶成長用にも適用することが可能である。また、適用可能な窒化物半導体層は、不純物のドーピングの有無、不純物ドーピングされた半導体のキャリアの極性、混晶の組成比には依存しない。

【0012】

上記実施の形態における窒化物半導体成長用基板 6 の各構成要素等の物質の一般的な格子定数は以下のような値が知られている。

サファイア、 Al_2O_3 : $a = 4.758 \text{ \AA}$ 、 $c = 12.991 \text{ \AA}$

AlON : 構成元素と六方晶系であり、 Al_2O_3 と AlN との間と考えられる。

【0013】

AlN : $a = 3.112 \text{ \AA}$ 、 $c = 4.982 \text{ \AA}$

GaN : $a = 3.189 \text{ \AA}$ 、 $c = 5.185 \text{ \AA}$

すなわち、上記実施の形態の窒化物半導体成長用基板 6 における各格子定数は、サファイア基板 1 および Al_2O_3 層 2 > AlON 層 3 > AlN 層 4 となっている。

【0014】

上記のように本発明は、高品質な結晶性を有する窒化物半導体を容易に結晶成長させることを可能にする窒化物半導体成長用基板 6 である。このために本発明は、サファイア基板 1 のサファイア単結晶に格子整合する Al_2O_3 層 2 を堆積した後、サファイア基板 1 から窒化物半導体が結晶成長される表面に向かって、格子定数がお互いに近い物質からなる層、つまり、徐々に窒化物半導体の格子定数に近づくように層の組成を変化させた層が接するように積層された構造を有することを特徴としている。具体的には、サファイア基板 1、 Al_2O_3 層 2、AlON 層 3、AlN 層 4 の積層構造である。AlON 層 3 と AlN 層 4 に関しては、その順番で積層するのが最良の形態であるが、いずれか一方を用いた構造でも類似の効果を得ることができる。なお、最上層として Al_2O_3 からなるキャップ層 5 を設ける場合、このキャップ層 5 は空気さらされる等の外部環境に対する安定性を保つためのものである。上記従来技術のバッファ層を用いる構造とは、キャップ層 5 の有無の点でも異なる。キャップ層 5 が存在するということは、窒化物半導体成長用基板 6 をチャンバー外の空気雰囲気中に取り出すことを可能にし、該基板 6 の取り扱いを容易にする。なお、この最終層の Al_2O_3 キャップ層 5 は、窒化物半導体の結晶成長時には、アンモニア等の窒素を含む物質雰囲気が用いられるため、その下の層を構成する AlN 層 4 を構成する物質 AlN に変化すると考えられる（しかしながら、図 2、および後述の図 3 では Al_2O_3 キャップ層 5 と図示）。つまり、キャップ層 5 は、安定性をもたらすキャップの役目と、窒化物半導体成長時の表面との 2 役を果たす。

【0015】

次に、本発明の窒化物半導体成長用基板の応用例について説明する。

図 3 は、本発明の窒化物半導体成長用基板上に結晶成長させた $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) / GaN ヘテロ接合バイポーラトランジスタ構造の断面模式図である。

図 3 において、9 は GaN バッファ層、10 は n^+ 型 GaN サブコレクタ層、11 は

n^- 型 GaN コレクタ層、12 は p 型 GaN ベース層、13 は n^- 型 $Al_{1-x}Ga_xN$ エミッタ層 ($0 \leq x < 1$)、14 は n^+ 型 GaN コンタクト層、15 はコレクタ電極、16 はベース電極、17 はエミッタ電極である。

上記実施の形態に示した窒化物半導体成長用基板 6 上に、有機金属気相成長法により GaN バッファ層 9 (厚さ $1 \mu m$)、 n^+ 型 GaN サブコレクタ層 10 (厚さ $1 \mu m$)、 n^- 型 GaN コレクタ層 11 (厚さ $0.5 \mu m$)、p 型 GaN ベース層 12 (厚さ $0.08 \mu m$)、 n^- 型 $Al_{1-x}Ga_xN$ エミッタ層 13 ($0 \leq x < 1$) (厚さ $0.05 \mu m$)、 n^+ 型 GaN コンタクト層 14 (厚さ $0.1 \mu m$) を成長させた。この際の成長シーケンスは、窒化物半導体成長用基板 6 を成長炉に導入した後、アンモニア雰囲気下で成長温度 ($1000^\circ C$) まで昇温して、原料ガスを供給し成長させた。原料には、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、アンモニアを用いている。 n 型の不純物のドーピングにはシランを用いた。p 型の不純物のドーピングには Mg を用いた。エッチングによりメサ構造を作製し、露出した各層にオーミック電極、すなわち、コレクタ電極 15、ベース電極 16、エミッタ電極 17 を電子ビーム蒸着により形成した。作製したトランジスタのエミッタ接地のコレクタ電流-コレクタ電圧特性では、電流利得が 100 程度得られ、また、耐圧も既述の転位密度の減少を反映して、50 V 程度まで増加した。

【0016】

なお、以上説明した実施の形態は、本発明の理解を容易にするために記載されたものであって、本発明を限定するために記載されたものではない。したがって、上記実施の形態に開示された各要素は、本発明の技術的範囲に属する全ての設計変更や均等物をも含む趣旨である。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図 1】本発明の実施の形態の窒化物半導体成長用基板の断面模式図である。

【図 2】本発明の窒化物半導体成長用基板上に GaN 層を結晶成長させた構造の断面模式図である。

【図 3】本発明の窒化物半導体成長用基板上に結晶成長させた $Al_{1-x}Ga_xN$ ($0 \leq x < 1$) / GaN ヘテロ接合バイポーラトランジスタ構造の断面模式図である。

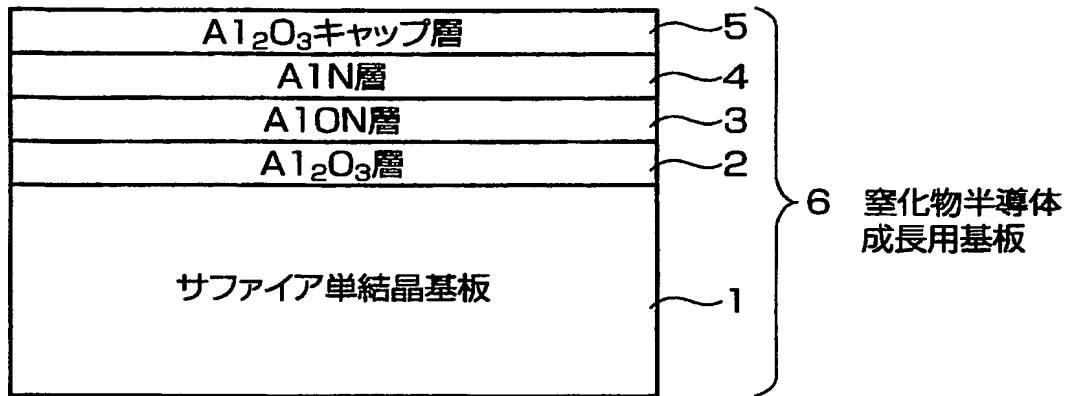
【符号の説明】

【0018】

1…サファイア基板、2… Al_2O_3 層、3…AlON 層、4…AlN 層、5… Al_2O_3 キャップ層 (最上層)、6…窒化物半導体成長用基板、7…GaN 層、8…導電性測定用 Si ドープ n 型 GaN 層、9…GaN バッファ層、10… n^+ 型 GaN サブコレクタ層、11… n^- 型 GaN コレクタ層、12…p 型 GaN ベース層、13… n^- 型 $Al_{1-x}Ga_xN$ エミッタ層 ($0 \leq x < 1$)、14… n^+ 型 GaN コンタクト層、15…コレクタ電極、16…ベース電極、17…エミッタ電極。

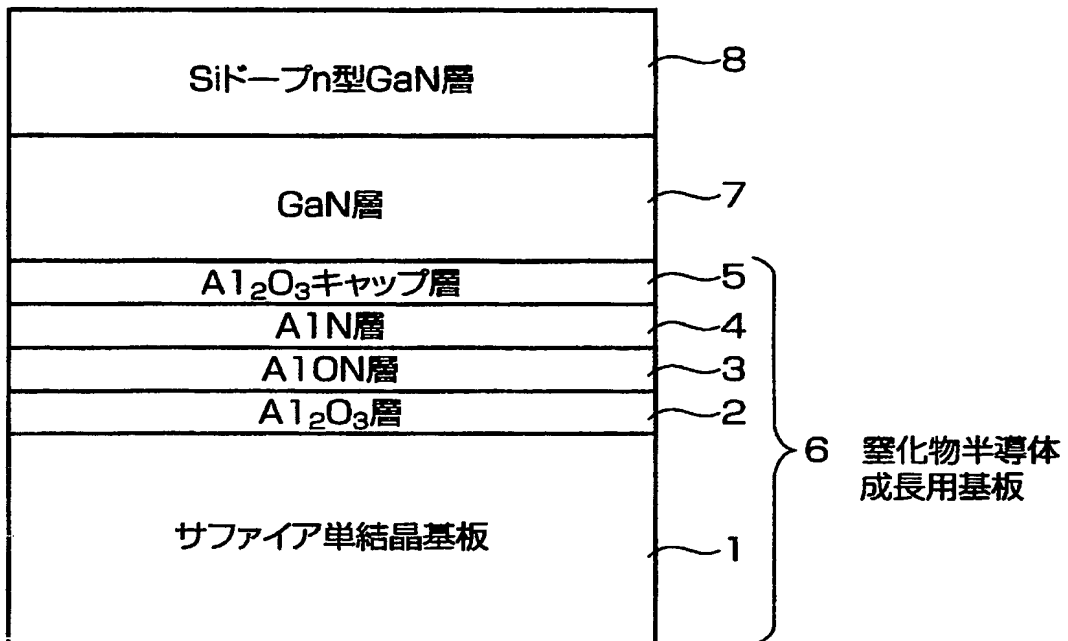
【書類名】 図面
【図 1】

図1



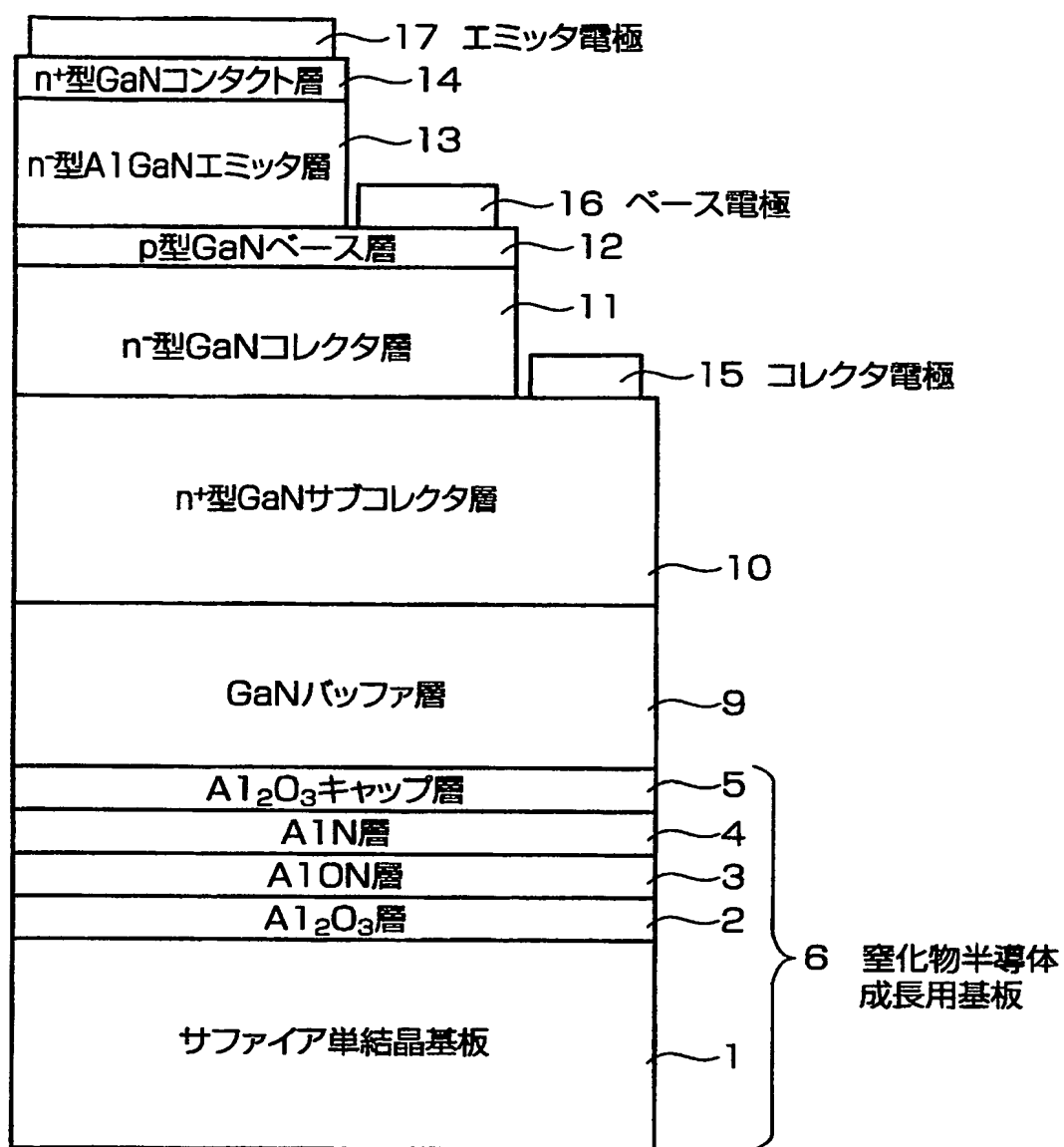
【図 2】

図2



【図3】

図3



【書類名】要約書

【要約】

【課題】窒化物半導体の成長プロセスを簡便化し、成長時間を短縮化し、かつ、高品質の窒化物半導体結晶層を得ることができる窒化物半導体成長用基板を提供する。

【解決手段】サファイア基板 1 上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、サファイア基板 1 上に設けた該サファイア基板 1 と格子整合する Al_2O_3 層 2 と、第 1 の層である $AlON$ 層 3 と、第 2 の層である AlN 層 4 とを有し、 $AlON$ 層 3 と AlN 層 4 との順序で前記 Al_2O_3 層上に積層された構造。

【選択図】 図 1

出願人履歴情報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日
[変更理由]
住 所
氏 名

1999年 7月15日
住所変更
東京都千代田区大手町二丁目3番1号
日本電信電話株式会社